

## SEMICONDUCTOR LASER MODULE AND RAMAN AMPLIFIER EMPLOYING THE SAME

**Publication number:** JP2003283036

**Publication date:** 2003-10-03

**Inventor:** SHIMIZU YUTAKA; TERADA KOHEI; TANIGUCHI  
HIDEHIRO; TSUKIJI NAOKI; OKI YASUSHI; YOSHIDA  
JIYUNJI; KIMURA TOSHIO

**Applicant:** FURUKAWA ELECTRIC CO LTD

**Classification:**

- international: **G02B6/42; G02F1/35; H01S3/10; H01S3/30;  
H01S5/022; H01S5/12; H04B10/16; H04B10/17;  
H01S3/094; H01S5/024; H01S5/34; G02B6/42;  
G02F1/35; H01S3/10; H01S3/30; H01S5/00;  
H04B10/16; H04B10/17; H01S3/094; (IPC1-7):  
H01S5/022; G02B6/42; G02F1/35; H01S3/10;  
H01S3/30; H01S5/12; H04B10/16; H04B10/17**

- European: **G02B6/42C3B; H01S5/022; Y01N10/00**

**Application number:** JP20020233967 20020809

**Priority number(s):** JP20020233967 20020809; JP20010398154 20011227;  
JP20020005991 20020115

**Also published as:**



US6934311 (B2)

US2003128728 (A1)

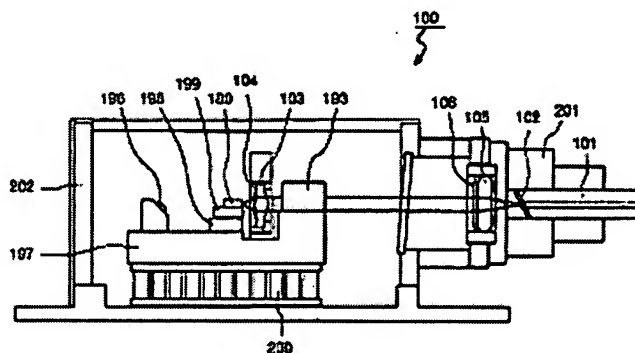
[Report a data error here](#)

### Abstract of JP2003283036

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a Raman amplifier employing a semiconductor laser module suitable for the light source of a front-exiting Raman amplifier of low RIN.

**SOLUTION:** In the semiconductor laser module 100 equipped with a Fabry-Perot type semiconductor laser element 180, an optical fiber 101, whose incident surface is ground, is fixed so as to have a predetermined angle with respect to the optical axis of incident laser light. Further, non-reflective films 102, 104, 106 are formed respectively on the incident surface of the optical fiber 101, a first lens 103 and a second lens 105.

**COPYRIGHT:** (C)2004,JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-283036

(P2003-283036A)

(43) 公開日 平成15年10月3日 (2003.10.3)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 S 5/022		H 0 1 S 5/022	2 H 0 3 7
G 0 2 B 6/42		G 0 2 B 6/42	2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 3
3/30		3/30	Z 5 K 1 0 2
審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 19 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2002-233967(P2002-233967)

(22) 出願日 平成14年8月9日(2002.8.9)

(31) 優先権主張番号 特願2001-398154(P2001-398154)

(32) 優先日 平成13年12月27日(2001.12.27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願2002-5991(P2002-5991)

(32) 優先日 平成14年1月15日(2002.1.15)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 清水 裕

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 寺田 幸平

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

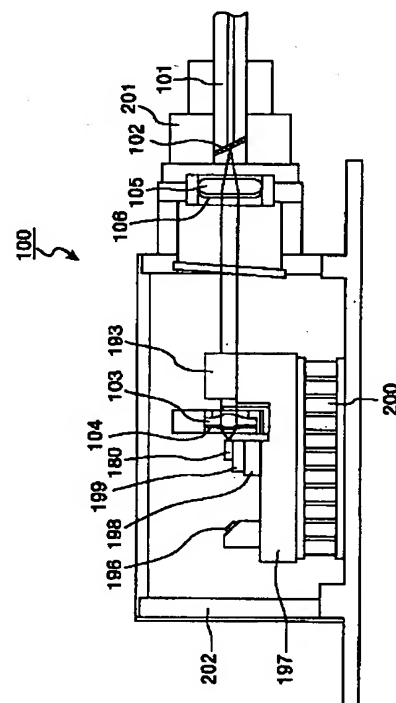
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器

(57) 【要約】

【課題】 R I Nの低い前方励起ラマン増幅器用光源に適した半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器を提供する。

【解決手段】 ファブリペロー型の半導体レーザ素子180を備えた半導体レーザモジュール100において、入射面が斜めに研磨された光ファイバ101を、その中心軸が、入射されるレーザ光の光軸に対して所定角度となるように固定する。また、光ファイバ101の入射面上、第1レンズ103、第2レンズ105にそれぞれ非反射膜102、104、106を形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ファブリペロー型の半導体レーザ素子と、  
前記半導体レーザ素子から出射されたレーザ光が入射される入射面が斜めに研磨された光ファイバと、  
を備え、  
光増幅器の励起光源に用いられることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項2】 レーザ光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と前記回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に2本以上の発振縦モードを含むレーザ光を出力する半導体レーザ素子と、  
前記レーザ光が入射される入射面が斜めに研磨された光ファイバと、  
を備えたことを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項3】 前記半導体レーザ素子は、レーザ発振時における出射レーザ光が1200nm以上、1600nm以下の波長を有することを特徴とする請求項2に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項4】 前記半導体レーザ素子は、光出射方向の長さが800μm以上、3200μm以下であることを特徴とする請求項2または3に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項5】 前記回折格子は、回折格子長が300μm以下であることを特徴とする請求項2～4のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項6】 前記回折格子の回折格子長は、前記共振器長の(300/1300)倍の値以下であることを特徴とする請求項2～5のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項7】 前記回折格子の結合係数と回折格子長との乗算値が0.3以下であることを特徴とする請求項2～6のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項8】 前記回折格子は、グレーティング周期に所定の周期揺らぎを持たせたことを特徴とする請求項2～7のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項9】 前記回折格子は、前記グレーティング周期をランダムあるいは所定周期で変化させたことを特徴とする請求項8に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項10】 前記半導体レーザ素子の前記第1反射膜の反射率は1%以上であることを特徴とする請求項2～9のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項11】 前記光ファイバは、当該光ファイバの中心軸が、前記入射面に入射されるレーザ光の光軸に対して所定の角度を有した状態で固定されたことを特徴とする請求項1～10のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項12】 前記光ファイバの入射面上に非反射膜が形成されたことを特徴とする請求項1～11のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項13】 前記半導体レーザ素子と前記光ファイバの入射端の間に、アイソレータを備えたことを特徴とする請求項1～12のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項14】 前記アイソレータは、偏向子/ファラデーロータ/偏向子を1段構造として少なくとも1.5段の構造であり、光軸に対して4°前後傾いて配置されたことを特徴とする請求項13に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項15】 前記半導体レーザ素子と前記光ファイバの入射端の間に、当該半導体レーザ素子から出射されたレーザ光を前記光ファイバに結合するための少なくとも2つの光学レンズを備えたことを特徴とする請求項1～14のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項16】 前記光学レンズの少なくとも一つは、表面に非反射膜が形成されたことを特徴とする請求項15に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項17】 請求項1～16に記載の半導体レーザモジュールを広帯域ラマン増幅用の励起用光源として用いたことを特徴とするラマン増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ファブリペロー型の半導体レーザ素子または複数の発振縦モードのレーザ光を出力する半導体レーザ素子を具備した半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器に関し、特に相対強度雑音(RIN:Relative Intensity Noise)を低減させた半導体レーザモジュールおよびラマン増幅器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年のインターネットの急速な普及や企業内LAN間接続の急増等によって、データトラヒックの増加が問題となっており、通信パフォーマンスの低下を防止するためにも、高密度波長分割多重(DWDM:Dense-Wavelength Division Multiplexing)伝送システムがめざましい発展を遂げ普及している。

【0003】DWDM伝送システムでは、複数の光信号をそれぞれ異なる波長に乗せることにより1本のファイバで従来の100倍にも及ぶ大容量伝送を実現している。特に既存のDWDM伝送システムは、エルビウム添加ファイバアンプ(以下、EDFA)を用いることで、広帯域・長距離伝送を可能としている。ここで、EDFAは、エルビウムという元素を添加した特殊な光ファイバに波長1480nm、あるいは波長980nmの励起レーザで通光した際に、伝送信号である波長1550nm帯の光が上記特殊ファイバの中で増幅されるという原

理を応用した光ファイバ増幅装置である。

【0004】一方で、EDFAは、光信号を励起する部分が集中している集中型光アンプであって、雑音の累積につながる伝送路光ファイバの損失や、信号の歪みや雑音の原因となる非線形性を受けるといった制限があった。さらに、EDFAは、エルビウムバンドギャップエネルギーによって定まる波長帯での光増幅を可能とするものであり、さらなる多重化を実現するための広帯域化が困難であった。

【0005】そこで、EDFAに代わる光ファイバ増幅装置として、ラマン増幅器が注目されている。ラマン増幅器は、EDFAのようにエルビウム添加ファイバといった特殊なファイバを必要とせず、通常の伝送路ファイバを利得媒体とする分布型光アンプであるため、従来のEDFAをベースとしたDWDM伝送システムに比べ広帯域で平坦な利得を有する伝送帯域を実現することができるという特徴を有している。

【0006】図18は、DWDM伝送システムに用いられる従来のラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図18において、半導体レーザモジュール183a～183dは、ファブリペロー型の半導体レーザ素子を備えており、励起光のもとになるレーザ光を偏波合成カブラ61a、61bに出力する。なお、各半導体レーザモジュール183a、183bが出力するレーザ光の波長は同じであるが、偏波合成カブラ61aによって各レーザ光の偏波面を90°異ならせている。同様にして、各半導体レーザモジュール183c、183dが出力するレーザ光の波長は同じであるが、偏波合成カブラ61bによって各レーザ光の偏波面を90°異ならせている。偏波合成カブラ61a、61bは、それぞれ偏波合成したレーザ光をWDMカブラ62に出力する。なお、偏波合成カブラ61a、61bから出力されるレーザ光の波長は異なる。

【0007】WDMカブラ62は、偏波合成カブラ61a、61bから出力されたレーザ光を合波する。WDMカブラ62から出力されたレーザ光は、アイソレータ60およびWDMカブラ65を介し、励起光として増幅用ファイバ64に入射される。増幅用ファイバ64には、信号光入力ファイバ69からアイソレータ63を介して入力された増幅対象の信号光が通光されるが、その際に、上記した励起光と合波されてラマン増幅される。

【0008】増幅用ファイバ64内においてラマン増幅された信号光（増幅信号光）は、WDMカブラ65およびアイソレータ66を介してモニタ光分配用カブラ67に入力される。モニタ光分配用カブラ67は、増幅信号光の一部を制御回路68に出力し、残りの増幅信号光を出力光として信号光出力ファイバ70に出力する。

【0009】制御回路68は、入力された一部の増幅信号光をもとに各半導体レーザ素子180a～180dの発光状態、たとえば光強度を制御し、ラマン増幅の利得

帯域が平坦な特性となるようにフィードバック制御する。

【0010】図19は、上記従来のラマン増幅器で用いられる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。図19において、半導体レーザモジュール183は、Cu-W合金などによって形成されたパッケージ202の内部底面上に、ペルチェモジュール200が配置される。ペルチェモジュール200上にはベース197が配置され、このベース197上にはキャリア198が配置され、さらにその上にサブマウント199が配置される。また、このサブマウント199上に、半導体レーザ素子180が配置される。

【0011】ペルチェモジュール200には、図示しない電流が与えられ、その極性によって冷却および加熱を行なうが、半導体レーザ素子180の温度上昇による発振波長ずれを防止するため、主として冷却器として機能する。すなわち、ペルチェモジュール200は、レーザ光が所望の波長に比して長い波長である場合には、冷却して低い温度に制御し、レーザ光が所望の波長に比して短い波長である場合には、加熱して高い温度に制御する。この温度制御は、具体的に、サブマウント199上であってかつ半導体レーザ素子180の近傍に配置されたサーミスタ（図示せず）の検出値をもとに制御され、図示しない制御装置は、通常、半導体レーザ素子180の温度が一定に保たれるようにペルチェモジュール200を制御する。

【0012】また、ベース197上には、上記したキャリア198以外にも、第1レンズ192、アイソレータ193およびモニタフォトダイオード196が配置される。半導体レーザ素子180から出射されたレーザ光は、第1レンズ192およびアイソレータ193を介して、第2レンズ194によって集光される。第2レンズ194によって集光されたレーザ光は、フェルル201で固定された光ファイバ203内に導かれる。モニタフォトダイオード196は、半導体レーザ素子180の反射膜側から漏れた光をモニタ検出する。

【0013】次に、従来のラマン増幅器の他の例を説明する。図20は、DWDM伝送システムに用いられる従来のラマン増幅器の他の例の構成を示すブロック図である。なお、図20において、図18と共通する部分には同一の符号を付してその説明を省略する。図20に示すラマン増幅器は、上記した半導体レーザモジュール183a～183dが半導体レーザモジュール182a～182dとなった点で図18と異なる。半導体レーザモジュール182aは、ファブリペロー型の半導体レーザ素子180aとファイバグレーティング181aとを備えて構成され、他の半導体レーザモジュール182b～182dも同様に、それぞれ、ファブリペロー型の半導体レーザ素子180b～180dとファイバグレーティング181b～181dを備えて構成される。

【0014】図21は、上記従来のラマン増幅器の他の例で用いられる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。なお、図21において、図19と共通する部分には同一の符号を付してその説明を省略する。図21に示す半導体レーザモジュールは、光ファイバ203の所定位置にファイバグレーティング181を有し、第2レンズ194によって集光されたレーザ光は、フェルルール201で固定された光ファイバ203内に導波され、ファイバグレーティング181に導かれる点で図19と異なる。

【0015】図22は、図21に示した半導体レーザモジュールにおいて、半導体レーザ素子の構造とファイバグレーティングの機能を説明するための説明図である。図22において、半導体レーザ素子180は、活性層221を有する。活性層221は、一端に光反射面222が設けられ、他端に光出射面223が設けられる。活性層221内で生じた光は、光反射面222で反射して、光出射面223から出力される。

【0016】半導体レーザ素子180の光出射面223には、図21に示したように、光ファイバ203が対向配置され、その端面において半導体レーザ素子180の光出射面223と光結合される。光ファイバ203内のコア232には、光出射面223から所定位置にある上記ファイバグレーティング181が形成され、ファイバグレーティング181は、特定波長の光を選択的に反射する。すなわち、ファイバグレーティング181は、外部共振器として機能し、ファイバグレーティング181と光反射面222との間で共振器を形成し、ファイバグレーティング181によって選択された特定波長のレーザ光が増幅されて出力レーザ光241として出力される。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図19に示した半導体レーザモジュール183および図21に示した半導体レーザモジュール182において、半導体レーザ素子180から出射されたレーザ光は、第1レンズ192の入射面または出射面、アイソレータ193の入射面および第2レンズ194の入射面のそれぞれにおいて光の反射が起こりうるため、その反射光が戻り光として半導体レーザ素子180へと入射され、相対強度雑音(RIN: Relative Intensity Noise)を増大させる要因となっている。さらに、図19および図21に示すように、光ファイバ203の入射端面は、入射されるレーザ光の光軸に対して垂直な面であるため、その面での反射光もまたRIN増大の要因となっている。

【0018】特に、ラマン増幅では、増幅の生じる過程が早く起こるため、励起光強度が揺らいでいると、ラマン利得も揺らぐことになり、このラマン利得の揺らぎがそのまま増幅された信号強度の揺らぎとして出力されてしまい、安定したラマン増幅を行わせることができない

という問題点があった。

【0019】さらに、図21に示した半導体レーザモジュール182にあつては、ファイバグレーティング181と半導体レーザ素子180との間隔が長い場合、ファイバグレーティング181と光反射面222との間の共振によって上記RINが大きくなる。これは、RINスペクトルにおいて、半導体レーザ素子180の光反射面222とファイバグレーティング181との間の光の往復時間に対応した周波数毎にピーク値が発生するからである。ここで、ラマン増幅では、増幅の生じる過程が早く起こるため、励起光強度が揺らいでいると、ラマン利得も揺らぐことになり、このラマン利得の揺らぎがそのまま増幅された信号強度の揺らぎとして出力されてしまい、安定したラマン増幅を行わせることができないという問題点があった。

【0020】また、図21に示した半導体レーザモジュール182は、ファイバグレーティング181を有した光ファイバ203と、半導体レーザ素子180とを光結合する必要があるが、組立時の光軸合わせに時間と労力とがかかるとともに、共振器内における機械的な光結合であるために、レーザの発振特性が機械的振動などによって変化してしまうおそれがあり、安定した励起光を提供することができない場合が生じるという問題点があった。

【0021】図23は、図21に示した半導体レーザモジュールのRIN特性を示す図である。また、図24は、図23のRIN特性を得た際の測定系である。図24において、半導体レーザモジュール300は、レーザモジュールドライバ302によって駆動され、その駆動によって出射された光は、光アッテネータ303を介して減衰した後、光シグナルアナライザ304に入射する。そして、光シグナルアナライザ304によってRINが計測される。特にここでは、光シグナルアナライザ304としてヒューレットパッカード社製のHP70810BとHP70908Aを使用し、それら光シグナルアナライザ304は、内部アッテネータを0dBに設定された状態で、2.5dBmの入力光を得るように、光アッテネータ303を調整した。さらに詳細な測定条件としては、0~22GHzの測定レンジで分解能バンド幅を自動モードに設定し、0~2GHzの測定レンジで分解能バンド幅を0.3MHzに設定し、0~0.1GHzの測定レンジで分解能バンド幅を0.0464MHzに設定した。この測定条件によるRIN測定の結果、図23に示すように、駆動電流 $I_{op}=900\text{mA}$ の下で、RIN特性の悪化が見られた。

【0022】ところで、ラマン増幅器としては、図18および図20に示したラマン増幅器のように信号光に対して後方へと励起する後方励起方式のほかに、信号光に対して前方へと励起する前方励起方式および双方向から

励起する双方向励起方式がある。現在、ラマン増幅器として多用されているのは、後方励起方式である。その理由は、弱い信号光が強い励起光とともに同方向に進行する前方励起方式では、励起光強度のゆらぎが信号光に移りやすく、また、4光波混合などの非線形効果が起こりやすく、さらに、励起光の偏光依存性が現われやすいという問題があるからである。よって、前方励起方式で用いられる励起光源（上記半導体レーザモジュール、偏波合成カプラおよびWDMカプラからなる構成）は、その励起光強度を大きくすることができず、後方励起方式で用いられる励起光源の励起光強度と比較して小さな励起光強度で稼働させる必要があった。ところが、励起光強度を小さくするために、半導体レーザ素子180の駆動電流が小さくなりすぎると、RINの低周波側に緩和振動の影響が現われ、RINを増加させるという問題がある。したがって、前方励起方式にも適用できる安定した励起光源の出現が要望されている。また、図20に示したラマン増幅器では、ファイバグレーティングの存在が、適用できる励起方式を制限させていた。

【0023】ラマン増幅器におけるラマン増幅では、信号光の偏波方向と励起光の偏波方向とが一致することを条件としている。すなわち、ラマン増幅では、増幅利得の偏波依存性があり、信号光の偏波方向と励起光の偏波方向とのずれによる影響を小さくする必要がある。ここで、後方励起方式の場合、信号光は、伝搬中に偏波がランダムとなるため、問題は生じないが、前方励起方式の場合、偏波依存性が強く、励起光の直交偏波合成、デポラライズなどによって偏波依存性を小さくする必要がある。すなわち、偏光度（DOP: Degree Of Polarization）を小さくする必要がある。

【0024】本発明は上記に鑑みてなされたものであって、RIN特性の悪化が抑制された前方励起ラマン増幅器用光源に適した半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器を提供することを目的とする。

【0025】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1にかかる半導体レーザモジュールは、ファブリペロー型の半導体レーザ素子と、前記半導体レーザ素子から出射されたレーザ光が入射される入射面が斜めに研磨された光ファイバとを備え、光増幅器の励起光源に用いられることを特徴としている。

【0026】また、請求項2にかかる半導体レーザモジュールは、レーザ光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と前記回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に2本以上の発振縦モードを含むレーザ光を出力する半導体レーザ素子と、前記レーザ光が入射される入射面が斜めに研磨された光ファイバと、を備え

たことを特徴としている。

【0027】また、請求項3にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、レーザ発振時における出射レーザ光が1200nm以上、1600nm以下の波長を有することを特徴としている。

【0028】また、請求項4にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、光出射方向の長さが800μm以上、3200μm以下であることを特徴としている。

【0029】また、請求項5にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記回折格子は、回折格子長が300μm以下であることを特徴としている。

【0030】また、請求項6にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記回折格子の回折格子長は、前記共振器長の（300/1300）倍の値以下であることを特徴としている。

【0031】また、請求項7にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記回折格子の結合係数と回折格子長との乗算値が0.3以下であることを特徴としている。

【0032】また、請求項8にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記回折格子は、グレーティング周期に所定の周期揺らぎを持たせたことを特徴としている。

【0033】また、請求項9にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記回折格子は、前記グレーティング周期をランダムあるいは所定周期で変化させたことを特徴としている。

【0034】また、請求項10にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記半導体レーザ素子の前記第1反射膜の反射率が1%以上であることを特徴としている。

【0035】また、請求項11にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記光ファイバが、その中心軸が、前記入射面に入射されるレーザ光の光軸に対して所定の角度を有した状態で固定されたことを特徴としている。

【0036】また、請求項12にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記光ファイバの入射面上に非反射膜が形成されたことを特徴としている。

【0037】また、請求項13にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記半導体レーザ素子と前記光ファイバの入射端の間に、アイソレータを備えたことを特徴としている。

【0038】また、請求項14にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記アイソレータが、偏向子/ファラデーローテータ/偏向子を1段構造とした1.5段以上の構造であり、光軸に対して4°前後傾いて配置されたことを特徴としている。

【0039】また、請求項15にかかる半導体レーザモ

ジュールは、上記の発明において、前記半導体レーザ素子と前記光ファイバの入射端の間に、その半導体レーザ素子から出射されたレーザ光を前記光ファイバに結合するための少なくとも2つの光学レンズを備えたことを特徴としている。

【0040】また、請求項16にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記光学レンズの少なくとも一つが、その表面に非反射膜を有していることを特徴としている。

【0041】また、請求項17にかかるラマン増幅器は、上記請求項1～16に記載の半導体レーザモジュールを広帯域ラマン増幅用の励起光源として用いたことを特徴としている。

【0042】

【発明の実施の形態】以下に、本発明にかかる半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態により本発明が限定されるものではない。

【0043】（実施の形態1）まず、実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールについて説明する。実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールは、ファブリペロ型の半導体レーザ素子を備え、各光学部品の光入射面と光出射面に非反射膜を施し、光ファイバの入射端を斜めに研磨することによって、半導体レーザ素子への戻り光を低減させたことを特徴としている。

【0044】図1は、実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。なお、図1において、図19と共通する部分には同一符号を付してここではその説明を省略する。図1に示す半導体レーザモジュール100において、図19と異なるところは、第1レンズ192に代えて、レーザ光の入射面に非反射膜104が形成された第1レンズ103を備え、第2レンズ194に代えて、レーザ光の入射面に非反射膜106が形成された第2レンズ105を備え、さらに、レーザ光の入射端面が光軸に対して垂直な面であった光ファイバ203に代えて、レーザ光の入射端面が光軸に対して斜めに研磨されるとともにその入射面に非反射膜102が形成された光ファイバ101を備えた点である。

【0045】図2は、上記斜めに研磨された光ファイバを説明するための説明図である。図2に示すように、光ファイバ101は、その入射面110が、中心軸113に垂直な方向の軸112に対して所定の角度 $\psi$ （例えば $\psi=6\sim8^\circ$ ）を有するように斜めに研磨されている。すなわち、第2レンズ105によって集光されたレーザ光は、斜めに研磨された入射面110上に結合される。ところが、中心軸113に平行なレーザ光が、この入射面110に入射した際には、屈折によって、入射後のレーザ光の光軸と光ファイバ101の中心軸113が一致しなくなるため、伝播損失が大きくなってしまふ。

【0046】そこで、その屈折を考慮して、入射後のレ

ーザ光の光軸と光ファイバ101の中心軸113が一致するように、第2レンズ105によって集光されたレーザ光の光軸111に対して中心軸が傾いた状態で光ファイバ101をフェルル201に固定する。すなわち、図2に示すように、光ファイバ101は、その中心軸113が、第2レンズ105によって集光されたレーザ光の光軸111に対して所定の角度 $\theta$ （例えば $\theta=3^\circ$ ）を有するように固定される。なお、光ファイバ101を傾けずに、第1レンズ103や第2レンズ105の位置や角度を調節することによって、結果的に、光ファイバ101の中心軸113が、第2レンズ105によって集光されたレーザ光の光軸111に対して所定の角度 $\theta$ を有するようにしてもよい。

【0047】つぎに、この斜めに研磨された光ファイバ101の導入効果について説明する。まず、発明者らは、斜めに研磨された光ファイバの導入によるRIN低減の効果を確かめるために比較実験を行なった。図3は、斜めに研磨されていない従来の光ファイバを用いた場合に相当するRIN測定系とその結果を示す図である。図3(a)は、測定結果であるRIN特性を示し、図3(b)は、その測定系を示す。

【0048】図3(b)に示す測定系において、142はキャリアを示し、141はベースを示し、140はペルチェモジュールを示し、144はアイソレータを示し、146は光ファイバ145を伝播して出力されるレーザ光のRINを測定するための測定装置である。この測定系を用いた結果、図3(a)に示すように、駆動電流 $I_{op}=500\text{mA}$ の下で、低周波側のRIN特性の悪化が見られた。

【0049】図4は、斜めに研磨された光ファイバを用いた場合に相当する測定系とその結果を示す図である。図4(a)は、測定結果であるRIN特性を示し、図4(b)は、その測定系を示す。なお、図4(b)において、図3(b)と共通する部分には同一符号を付してその説明を省略する。

【0050】図4(b)に示す測定系を用いた結果、図4(a)に示すように、駆動電流 $I_{op}=500\text{mA}$ の下で、図3(a)で見られた低周波側のRIN特性の悪化が見られなかった。よって、発明者らは、光学的に、斜めに研磨された入射面によってレーザ光の反射光が戻り光方向から外れることと、その裏づけが上記した比較実験から得られたことから、斜めに研磨された光ファイバ101を用いることでRIN低減が実現されるという見解に至った。

【0051】また、実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールでは、さらなるRIN低減を実現するため、すなわち半導体レーザ素子180への戻り光を低減させるために、第1レンズ103、第2レンズ105および光ファイバ101上にそれぞれ上記した非反射膜104、106および102が形成されている。これら非反



射膜の存在により、半導体レーザ素子180から出射されたレーザ光は、第1レンズ103、第2レンズ105および光ファイバ101の各入射面においてほとんど反射されることがなくなり、半導体レーザ素子180への戻り光の量が大幅に低減され、結果的にさらなるRIN低減が実現される。

【0052】さらに、上記したアイソレータ193としては、1.5段構造（偏向子／ファラデーローテータ／偏向子／ファラデーローテータ／偏向子）またはそれ以上の段数構造のアイソレータ（例えば損失0.3dB～0.5dBのもの）を用いるのが好ましい。また、アイソレータ193は、光軸に対して4°程度傾けて配置させるのがより好ましい。さらに、このアイソレータ193の入射面上に非反射膜を形成してもよい。これらによって、戻り光をより確実に低減させることができる。また、アイソレータ193の出射側表面に透過率を上げるための非反射膜を形成してもよい。

【0053】図5は、図1において、斜めに研磨された光ファイバを用いるとともに、上記したように第1レンズ103、第2レンズ105および光ファイバ101上にそれぞれ非反射膜が形成され、さらに1.5段構造アイソレータ193を用いた場合の半導体レーザモジュールに対してのRIN測定結果を示す図である。なお、測定系と測定条件は、図23の結果を得た際の測定系で採用されたとおりである。但し、駆動電流 $I_{op}=500\text{mA}$ とした。この測定系を用いた結果、図5に示すように、図23に示したRIN測定結果と比較して、低周波側のみならず全周波数領域においてRIN特性が良好となった。

【0054】以上に説明したとおり、実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールによれば、入射端が斜めに研磨された光ファイバ101を用いているので、その入射端面によって生じる反射光が戻り光として半導体レーザ素子180内に入射されるのを防ぐことができ、結果的にRIN特性の悪化が抑制され、信頼性の高い安定したレーザ光を提供することができる。

【0055】また、実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールによれば、上記した光ファイバ101を含めて、モジュールを構成する光学部品の光入射面上に非反射膜を形成しているので、戻り光の発生をさらに減少させ、RIN特性の悪化をより確実に抑制させることができる。

【0056】（実施の形態2）次に、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールについて説明する。実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールは、グレーティングを内蔵して所定閾値以下の複数の縦モードを有したレーザ光を出力する半導体レーザ素子を備えて高出力化とファイバグレーティングの排除を実現したことを特徴としている。さらに、実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールは、各光学部品の光入射面に非反射膜を施

し、光ファイバの入射端を斜めに研磨することによって、半導体レーザ素子への戻り光を低減させたことを特徴としている。

【0057】図6は、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。なお、図6において、図1と共通する部分には同一符号を付してここではその説明を省略する。図6に示す半導体レーザモジュール300において、図1と異なるところは、ファブリペロー型の半導体レーザ素子180に代えて後述する半導体レーザ素子20を備えた点である。

【0058】ここで、上記した半導体レーザ素子20の構造および特徴について説明する。図7は、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュール内の半導体レーザ素子の概要構成を示す斜めからみた破断面図である。また、図8は、図7に示した半導体レーザ素子の長手方向の縦断面図である。さらに、図9は、図7に示した半導体レーザ素子のA-A線断面図である。図7において、半導体レーザ素子20は、 $n\text{-InP}$ 基板1の(100)面上に、順次、 $n\text{-InP}$ によるバッファ層と下部クラッド層とを兼ねた $n\text{-InP}$ バッファ層2、圧縮歪みをもつGRIN-SCH-MQW (Graded Index-Separate Confinement Heterostructure Multi Quantum Well) 活性層3、 $p\text{-InP}$ スペーサ層4、および $p\text{-InP}$ クラッド層6、 $\text{InGaAsP}$ キャップ層7が積層されて構成される。

【0059】 $p\text{-InP}$ スペーサ層4内には、回折格子13が後述するように形成されている。この回折格子13を含む $p\text{-InP}$ スペーサ層4、GRIN-SCH-MQW活性層3、および $n\text{-InP}$ バッファ層2の上部は、メサストライプ状に加工され、メサストライプの両側は、電流ブロッキング層として形成された $p\text{-InP}$ ブロッキング層8と $n\text{-InP}$ ブロッキング層9によって埋め込まれている。また、 $\text{InGaAsP}$ コンタクト層7の上面には、 $p$ 側電極10が形成され、 $n\text{-InP}$ 基板1の裏面には、 $n$ 側電極11が形成される。

【0060】また、図8に示すように、半導体レーザ素子20の長手方向の一端面である光反射端面には、反射率80%以上の高光反射率をもつ反射膜14が形成され、他端面である光出射端面には、反射率が2%以下、好ましくは1%以下の低光反射率をもつ出射側反射膜15が形成される。反射膜14と出射側反射膜15とによって形成された光共振器のGRIN-SCH-MQW活性層3内に発生した光は、反射膜14によって反射し、出射側反射膜15を介し、レーザ光として出射される。

【0061】以下に、上記した各層の機能について簡単に説明する。まず、 $n\text{-InP}$ バッファ層2は、バッファ層としての機能の他に、クラッド層としての機能を有する。具体的には、 $n\text{-InP}$ バッファ層2は、GRIN-SCH-MQW活性層3の実効屈折率よりも低い屈折率を有することでGRIN-SCH-MQW活性層3



から発生する光を縦方向に閉じ込める機能を有する。

【0062】p-InP電流ブロック層8およびn-InP電流ブロック層9は、注入された電流を内部で狭窄する機能を担う。本実施の形態2にかかる半導体レーザ装置においては、p側電極10が陽極として機能するため、電圧が印加された際にはn-InP電流ブロック層9とp-InP電流ブロック層8との間には逆バイアスが印加される。そのため、n-InP電流ブロック層9からp-InP電流ブロック層8に向けて電流が流れることはなく、p側電極10から注入された電流は、狭窄されて高い密度でGRIN-SCH-MQW活性層3に流入する。電流が高密度で流入することで、GRIN-SCH-MQW活性層3におけるキャリア密度が高まり、発光効率を向上させている。

【0063】次に、回折格子13によって発振縦モードの選択が行なわれることについて説明する。なお、本実施の形態1において回折格子13によって選択される発振縦モードは単数であっても良いが、ここでは複数の発振縦モードを選択する場合について説明し、あわせて複数の発振縦モードを選択することによる利点についても説明する。

【0064】回折格子13は、膜厚20nmを有し、低反射膜15側から高反射膜14に向けて長さ $L_g = 50 \mu\text{m}$ に亘ってピッチ約220nmで周期的に形成され、中心波長1.48 $\mu\text{m}$ のレーザ光を波長選択する。ここで、回折格子13は、回折格子の結合係数 $\kappa$ と回折格子長 $L_g$ との乗算値を0.3以下とすることによって、駆動電流-光出力特性の線形性を良好にし、光出力の安定性を高めている（特願2001-134545参照）。また、共振器長 $L$ が1300 $\mu\text{m}$ の場合、回折格子長 $L_g$ が約300 $\mu\text{m}$ 以下のときに複数の発振縦モード数で発振するので、回折格子長 $L_g$ は300 $\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。ところで、共振器長 $L$ の長短に比例して、発振縦モード間隔も変化するため、回折格子長 $L_g$ は、共振器長 $L$ に比例した値となる。すなわち、（回折格子長 $L_g$ ）：（共振器長 $L$ ）=300：1300の関係を維持するため、回折格子長 $L_g$ が300 $\mu\text{m}$ 以下で複数の発振縦モードが得られる関係は、 $L_g \times (1300 (\mu\text{m}) / L) \leq 300 (\mu\text{m})$ として拡張することができる。すなわち、回折格子長 $L_g$ は、共振器長 $L$ との比を保つように設定され、共振器長 $L$ の（300/1300）倍の値以下としている（特願2001-134545参照）。さらに、回折格子13は、特願2001-134545にも記載されているように、所定の周期揺らぎを持つような、またはランダムや所定周期の変化を有するようなグレーティング周期で形成されてもよい。

【0065】なお、回折格子13は、出射側反射膜15に接して配置されることが望ましいが、必ずしも接する配置にしなくても、回折格子13の機能を発揮する範囲

内、たとえば20 $\mu\text{m}$ ~100 $\mu\text{m}$ 程度の範囲内で出射側反射膜15から離隔する配置とすることもできる。また、半導体レーザ素子20の製造時において生じる半導体レーザ素子20の劈開位置のばらつきなどによって、回折格子13が反射膜14側に残っていてもよい。また、この回折格子13は、活性層全面に亘って配置されてもよいし、活性層の一部分に配置されてもよい。

【0066】また、図9に示すように、n-InPバッファ層2の上部、GRIN-SCH-MQW活性層3および上記した回折格子13を含むp-InPスペーサ層4は、メサストライプ状に加工され、メサストライプの両側は、電流ブロッキング層として形成されたp-InPブロッキング層8とn-InPブロッキング層9によって埋め込まれている。また、InGaAsPキャップ層7の上面には、p側電極10が形成され、n-InP基板1の裏面には、n側電極11が形成される。

【0067】以上に説明した構成の半導体レーザ素子20をラマン増幅器の励起用光源として用いる場合には、その発振波長 $\lambda_0$ を、1100nm~1550nmとし、共振器長 $L$ を、800 $\mu\text{m}$ 以上3200 $\mu\text{m}$ 以下とする。ところで、一般に、半導体レーザ素子の共振器によって発生する縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、等価屈折率を「 $n$ 」とすると、次式で表すことができる。すなわち、

$$\Delta\lambda = \lambda_0^2 / (2 \cdot n \cdot L)$$

である。ここで、発振波長 $\lambda_0$ を1480nmとし、実効屈折率を3.5とすると、共振器長 $L$ が800 $\mu\text{m}$ のとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約0.39nmとなり、共振器長が3200 $\mu\text{m}$ のとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約0.1nmとなる。すなわち、共振器長 $L$ を長くすればするほど、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は狭くなり、単一縦モードのレーザ光を発振するための選択条件が厳しくなる。

【0068】この回折格子13による選択波長特性は、図10に示す発振波長スペクトル30として表される。図10に示すように、半導体レーザ素子20では、特に、上記したように設計された回折格子13によって、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ で示される波長選択特性内に、発振縦モードが複数存在する。図10では、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に3つの発振縦モード31~33を有している。従来の半導体レーザ素子では、共振器長 $L$ を800 $\mu\text{m}$ 以上とすると、単一縦モード発振が困難であったため、かかる共振器長 $L$ を有した半導体レーザ装置は用いられなかったが、この半導体レーザ素子20では、共振器長 $L$ を積極的に800 $\mu\text{m}$ 以上とすることで、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に複数の発振縦モードを含んだレーザ光を出力する。

【0069】複数の発振縦モードを有するレーザ光を用いると、単一縦モードのレーザ光を用いた場合に比し

て、レーザ出力のピーク値を抑えて、高いレーザ出力値を得ることができる。図11は、単一縦モードのレーザ光と複数の発振縦モードのレーザ光の各プロファイルの説明するための説明図である。たとえば、この半導体レーザ素子20では、図11(b)に示すプロファイルを有し、低いピーク値で高レーザ出力を得ることができる。これに対し、図11(a)は、同じレーザ出力を得る場合の単一縦モード発振の半導体レーザ装置のプロファイルであり、高いピーク値を有している。

【0070】ここで、半導体レーザ素子20をラマン増幅器の励起用光源として用いる場合、ラマン利得を大きくするために励起光出力パワーを増大することが好ましいが、そのピーク値が高いと、誘導ブリルアン散乱が発生し、雑音が増加するという不具合が発生する。誘導ブリルアン散乱は、図11(a)に示すように、レーザ出力が、誘導ブリルアン散乱が発生する閾値 $P_{th}$ を超えた場合に発生する。そこで、半導体レーザ素子20では、図11(a)に示すプロファイルと同じレーザ出力パワーを得るために、図11(b)に示すように、誘導ブリルアン散乱の閾値 $P_{th}$ 以下にピーク値を抑えた複数の発振縦モードでレーザ光を出射する。これにより、高い励起光出力パワーを得ることができ、その結果、高いラマン利得を得ることが可能となる。

【0071】また、図10において、発振縦モード31～33の波長間隔(モード間隔) $\Delta\lambda$ は、0.1nm以上としている。これは、半導体レーザ素子20をラマン増幅器の励起用光源として用いる場合、モード間隔 $\Delta\lambda$ が0.1nm以下であると、誘導ブリルアン散乱が発生する可能性が高くなるからである。この結果、上述したモード間隔 $\Delta\lambda$ の式によって、上述した共振器長 $L$ が3200 $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましいことになる。このような観点から、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に含まれる発振縦モードの本数は、複数であることが望ましい。

【0072】よって、上述したように、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュール内に設けられる半導体レーザ素子20は、発振波長スペクトルの半値幅内に2本以上の発振縦モードが含まれるように、回折格子13の配置位置と共振器長 $L$ が設定されているので、誘導ブリルアン散乱を生じさせることなく、安定に高出力のレーザ出力を得ることができる。

【0073】なお、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュール内の半導体レーザ素子としては、上述した構成以外にも、特願2000-323118、特願2001-134545および特願2001-228669の各実施の形態に記載された種々の「半導体レーザ素子」を用いることができる。

【0074】つづいて、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールで用いる光ファイバ101について説明する。この光ファイバ101もまた、図2に示した斜め

研磨型の光ファイバであり、その固定方法についても実施の形態1において説明したとおりである。

【0075】つぎに、この斜めに研磨された光ファイバ101の実施の形態2における導入効果について説明する。まず、発明者らは、斜めに研磨された光ファイバの導入によるRIN低減の効果を確かめるために比較実験を行なった。図12は、斜めに研磨されていない従来の光ファイバを用いた場合に相当する測定系とその結果を示す図である。図12(a)は、測定結果であるRIN特性を示し、図12(b)は、その測定系を示す。

【0076】図12(b)に示す測定系では、斜めに研磨されていない従来の光ファイバを用いた場合の半導体レーザモジュールのRIN特性を測定するために、半導体レーザ素子43から出射されたレーザ光を集光させる機能をも併せ持つ先球光ファイバ44を使用した。先球光ファイバ44は、その光入射端が半球形状である光ファイバであり、その半球形状によってレンズ機能が果たされている。また、同図において、42はキャリアを示し、41はベースを示し、40はペルチェモジュールを示し、45は、先球光ファイバ44を伝播して出力されるレーザ光のRINを測定するための測定装置である。この測定系を用いた結果、図12(a)に示すように、駆動電流 $I_{op}=300\text{mA}$ の下で、低周波側のRIN特性の増加が見られた。

【0077】図13は、斜めに研磨された光ファイバを用いた場合に相当する測定系とその結果を示す図である。図13(a)は、測定結果であるRIN特性を示し、図13(b)は、その測定系を示す。なお、図13(b)において、図12(b)と共通する部分には同一符号を付してその説明を省略する。

【0078】図13(b)に示す測定系では、図12(b)に示す測定系との差異を最小限に抑えつつ、斜めに研磨された光ファイバを用いた場合の半導体レーザモジュールのRIN特性を測定するために、半導体レーザ素子43から出射されたレーザ光を集光させる機能をも併せ持つとともに入射面の一部が斜めに研磨された斜めくさび形光ファイバ50を使用した。この測定系を用いた結果、図13(a)に示すように、駆動電流 $I_{op}=300\text{mA}$ の下で、図12(a)で見られた低周波側のRIN特性の増加が見られなかった。

【0079】よって、発明者らは、光学的に、斜めに研磨された入射面によってレーザ光の反射光が戻り光方向から外れることと、その裏づけが上記した比較実験から得られたことから、斜めに研磨された光ファイバ101を用いることでRIN低減が実現されるという見解に至った。

【0080】図14は、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールのRIN特性を示す図である。但し、図14に示すRIN特性は、光ファイバの斜め研磨によるRIN低減効果を評価するために、図5に示した第1レ

レンズ103、第2レンズ105および光ファイバ101上にそれぞれ非反射膜104、106および102が形成されている半導体レーザモジュールによるものであり、駆動電流 $I_{op}=1000\text{mA}$ の下で行った結果である。図14に示すように、図12(a)で見られた低周波側の大きなRINが見られず、光ファイバの斜め研磨によるRIN低減が実現されている。

【0081】また、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールでは、実施の形態1で説明したように、第1レンズ103、第2レンズ105および光ファイバ101上にそれぞれ上記した非反射膜104、106および102が形成されている。これら非反射膜の存在により、半導体レーザ素子20から出射されたレーザ光は、第1レンズ103、第2レンズ105および光ファイバ101の各入射面においてほとんど反射されることがなくなり、半導体レーザ素子20への戻り光の量が大幅に低減され、結果的にさらなるRIN低減が実現される。

【0082】また、上述した半導体レーザ素子20の説明においては、出射側反射膜15の反射率が2%以下、好ましくは1%以下の低光反射率としたが、逆に、例えば1%以上にすることもできる。これにより、仮に半導体レーザ素子20の出射側に上記した戻り光が到達したとしても、高めの反射率によってその戻り光をさらに反射させて、戻り光が半導体レーザ素子20内に入射してしまうのを防ぐことができる。また、上記したアイソレータ193についても実施の形態1と同様なものを使用することができる。

【0083】図15は、図6において、斜めに研磨された光ファイバを用いるとともに、上記したように第1レンズ103、第2レンズ105および光ファイバ101上にそれぞれ非反射膜が形成され、さらに1.5段構造アイソレータ193を用いた場合の半導体レーザモジュールに対してのRIN測定結果を示す図である。なお、測定系と測定条件は、図23の結果を得た際の測定系で採用されたとおりである。但し、駆動電流 $I_{op}=900\text{mA}$ とした。この測定系を用いた結果、図15に示すように、図23に示したRIN測定結果と比較して、低周波側のみならず全周波数領域においてRIN特性が良好となった。

【0084】以上に説明したとおり、実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールによれば、誘導ブリルアン散乱が発生する閾値以下の複数の発振縦モードのレーザ光を出力する半導体レーザ素子を備えた半導体レーザモジュールにおいて、入射端が斜めに研磨された光ファイバ101を用いているので、その入射端面によって生じる反射光が戻り光として半導体レーザ素子20内に入射されるのを防ぐことができ、結果的にRINを低減され、信頼性の高い安定したレーザ光を提供することができる。

【0085】また、実施の形態2にかかる半導体レーザ

モジュールによれば、上記した光ファイバ101を含めて、モジュールを構成する光学部品の光入射面上に非反射膜を形成しているので、戻り光の発生をさらに減少させ、RINの増加をより確実に抑制させることができる。

【0086】なお、上述した実施の形態2では、半導体レーザ素子20の発振波長 $\lambda_0$ を1480nmとした場合を例に挙げたが、例えば980nm等のその他の発振波長の半導体レーザ素子を設ける場合にも本発明を適用することができることは言うまでもない。

【0087】(実施の形態3) つぎに、実施の形態3にかかるラマン増幅器について説明する。実施の形態3にかかるラマン増幅器は、その励起光源を構成する半導体レーザモジュールとして、実施の形態1または2に示した半導体モジュールを用いたことを特徴としている。

【0088】図16は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。なお、図16において、図18と共通する部分には同一の符号を付してその説明を省略する。

【0089】図16に示すラマン増幅器において、アイソレータ63の近傍に設けられたWDMカプラ65'には、実施の形態1または2に示した半導体レーザモジュールに対応する半導体レーザモジュール100a~100d、偏波合成カプラ61a'、61b'およびWDMカプラ62'を有した回路が接続され、WDMカプラ62'から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行なう。この場合、半導体レーザモジュール100a~100dは、上述した実施の形態1で説明した半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行なうことができる。

【0090】また、図17は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。なお、図17において、図18と共通する部分には同一の符号を付してその説明を省略する。図17に示したラマン増幅器は、図16に示したラマン増幅器の構成に、WDMカプラ62、実施の形態1もしくは2に示した半導体レーザモジュールまたは従来の半導体レーザモジュールに対応する半導体レーザモジュール120a~120dおよび偏波合成カプラ61a、61bをさらに設け、後方励起と前方励起とを行なう。

【0091】各半導体レーザモジュール120a、120bは、レーザ光を偏波合成カプラ61aに出力し、各半導体レーザモジュール120c、120dは、レーザ光を偏波合成カプラ61bに出力する。ここで、半導体レーザモジュール120a、120bが発振するレーザ光は、同一波長である。また、半導体レーザモジュール120c、120dが発振するレーザ光は、同一波長であるが半導体レーザモジュール120a、120bが発振するレーザ光の波長とは異なる。これは、ラマン増幅が偏波依存性を有するためであり、偏波合成カプラ61

a, 61bによって偏波依存性が解消されたレーザ光として出力するようにしている。

【0092】各偏波合成カブラ61a, 61bから出力された異なる波長をもったレーザ光は、WDMカブラ62によって合成され、合成されたレーザ光は、WDMカブラ65を介してラマン増幅用の励起光として増幅用ファイバ64に出力される。この励起光が入力された増幅用ファイバ64には、増幅対象の信号光が入力され、ラマン増幅される。

【0093】この双方向励起方式の場合にも、半導体レーザモジュール100a~100dは、上述した実施の形態1または2で説明した半導体レーザ装置を用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行なうことができる。

【0094】以上に説明したとおり、実施の形態3にかかるラマン増幅器によれば、実施の形態1または2に示した半導体レーザモジュールを用いて励起光源を構成することで、RINの小さい前方励起を含んだラマン増幅を効果的に実現することができる。

【0095】なお、上述した実施の形態3では、実施の形態1または2に示した半導体レーザモジュールを、ラマン増幅用の励起光源に用いる場合を示したが、これに限らず、たとえば、0.98 $\mu$ mなどのEDFA励起光源としても用いることができるのは明らかである。

【0096】

【発明の効果】以上に説明したように本発明にかかる半導体レーザモジュールによれば、入射端が斜めに研磨された光ファイバを用いているので、その入射端面によって生じる反射光が戻り光として半導体レーザ素子内に入射されるのを防ぐことができ、結果的にRINが低減され、信頼性の高い安定したレーザ光を提供することができるという効果を奏する。

【0097】また、本発明にかかる半導体レーザモジュールによれば、誘導ブリルアン散乱が発生する閾値以下の複数の発振縦モードのレーザ光を出力する半導体レーザ素子を備えるので、RIN特性の増加の要因となっていたファイバグレーティングを排除することができるとともに、入射端が斜めに研磨された光ファイバを用いているので、その入射端面によって生じる反射光が戻り光として半導体レーザ素子内に入射されるのを防ぐことができ、結果的にRINを低減され、信頼性の高い安定したレーザ光を提供することができるという効果を奏する。

【0098】また、本発明にかかる半導体レーザモジュールによれば、上記した光ファイバを含めて、モジュールを構成する光学部品の光入射面上に非反射膜を形成しているので、戻り光の発生をさらに減少させ、RINの発生をより確実に低減させることができるという効果を奏する。

【0099】また、本発明にかかるラマン増幅器によれ

ば、上述した半導体レーザモジュールの作用効果を奏するようにし、安定かつ信頼性の高いラマン増幅を行なうことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。

【図2】斜めに研磨された光ファイバを説明するための説明図である。

【図3】実施の形態1において、斜めに研磨されていない従来の光ファイバを用いた場合に相当するRIN測定系とその結果を示す図である。

【図4】実施の形態1において、斜めに研磨された光ファイバを用いた場合に相当するRIN測定系とその結果を示す図である。

【図5】実施の形態1において、斜めに研磨された光ファイバと各光学部品の入射面上にそれぞれ非反射膜を形成するとともに、1.5段構造アイソレータを用いた場合の半導体レーザモジュールのRIN測定結果を示す図である。

【図6】実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。

【図7】実施の形態2にかかる半導体レーザモジュール内の半導体レーザ素子の概要構成を示す斜めからみた破断面図である。

【図8】図7に示した半導体レーザ素子の長手方向の縦断面図である。

【図9】図7に示した半導体レーザ素子のA-A線断面図である。

【図10】実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールが具備する半導体レーザ素子の回折格子による選択波長特性を説明するためのグラフである。

【図11】単一縦モードのレーザ光と複数の発振縦モードのレーザ光の各プロファイルを説明するための説明図である。

【図12】実施の形態2において、斜めに研磨されていない従来の光ファイバを用いた場合に相当する測定系とその結果を示す図である。

【図13】実施の形態2において、斜めに研磨された光ファイバを用いた場合に相当する測定系とその結果を示す図である。

【図14】実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールのRIN特性を示す図である。

【図15】実施の形態2において、斜めに研磨された光ファイバと各光学部品の入射面上にそれぞれ非反射膜を形成するとともに、1.5段構造アイソレータを用いた場合の半導体レーザモジュールのRIN測定結果を示す図である。

【図16】実施の形態3において、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図17】実施の形態3において、双方向励起方式を採

用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図18】 DWDM伝送システムに用いられる従来のラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図19】 従来のラマン増幅器で用いられる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。

【図20】 DWDM伝送システムに用いられる従来のラマン増幅器の他の例の構成を示すブロック図である。

【図21】 従来のラマン増幅器の他の例で用いられる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。

【図22】 図21に示した半導体レーザモジュールにおいて、半導体レーザ素子の構造とファイバグレーティングの機能を説明するための説明図である。

【図23】 図21に示した半導体レーザモジュールのRIN特性結果を示す図である。

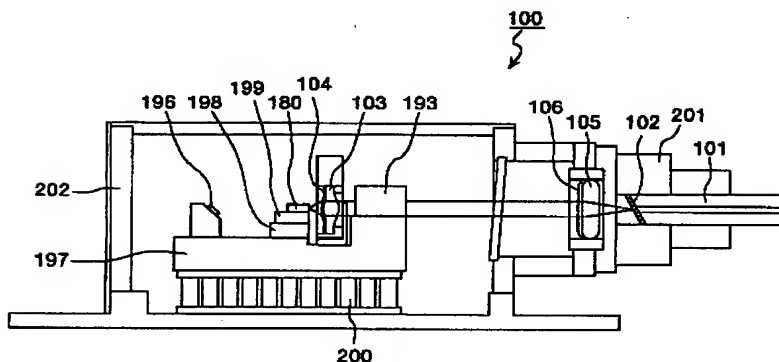
【図24】 RIN特性を得た際の測定系を示す図である。

#### 【符号の説明】

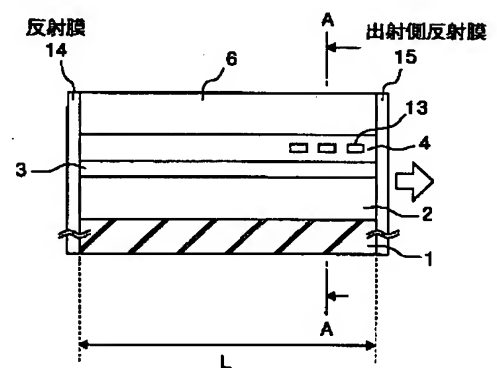
- 1 n-InP基板
- 2 n-InPバッファ層
- 3 GRIN-SCH-MQW活性層
- 4 p-InPスペーサ層
- 6 p-InPクラッド層
- 7 InGaAsPキャップ層
- 8 p-InPブロック層
- 9 n-InPブロック層
- 10 p側電極
- 11 n側電極
- 13 回折格子
- 14 反射膜
- 15 出射側反射膜
- 20, 43, 143, 180a, 180b, 180c, 180d 半導体レーザ素子
- 40, 140, 200 ペルチェモジュール
- 41, 141, 197 ベース
- 42, 142, 198 キャリア

- 44 先球光ファイバ
- 50 くさび形光ファイバ
- 60, 63, 66, 144, 193 アイソレータ
- 60a, 60b, 60c, 60d, 100, 120a, 120b, 120c, 120d, 300, 182, 182a, 182b, 182c, 182d, 183, 183a, 183b, 183c, 183d, 300 半導体レーザモジュール
- 61a, 61b 偏波合成カプラ
- 62, 65 WDMカプラ
- 64 増幅用ファイバ
- 67 モニタ光分配用カプラ
- 68 制御回路
- 69, 70 信号光出力ファイバ
- 101, 203 光ファイバ
- 103, 192 第1レンズ
- 102, 104, 106 非反射膜
- 105, 194 第2レンズ
- 110 入射面
- 181, 181a, 181b, 181c, 181d ファイバグレーティング
- 196 モニタフォトダイオード
- 199 サブマウント
- 201 フェルール
- 202 パッケージ
- 221 活性層
- 222 光反射面
- 223 光出射面
- 232 コア
- 145, 203 従来の光ファイバ
- 101, 150 斜めに研磨された光ファイバ
- 302 レーザモジュールドライバ
- 303 光アッテネータ
- 304 光シグナルアナライザ

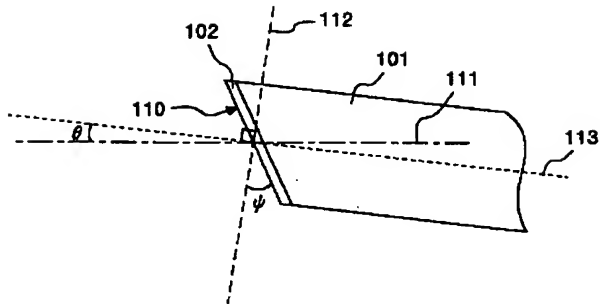
【図1】



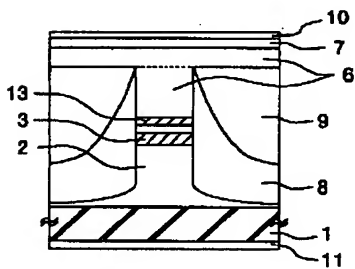
【図8】



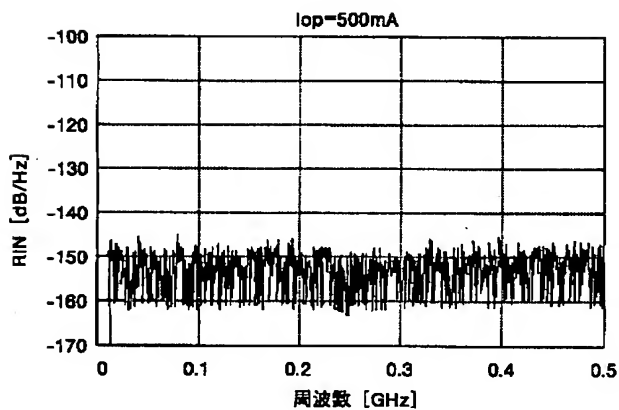
【図2】



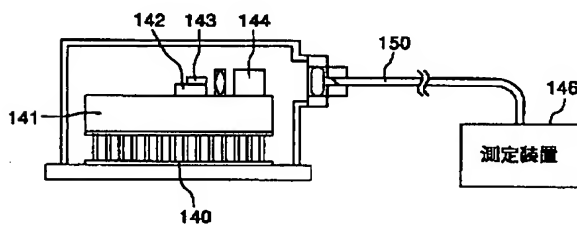
【図9】



【図4】

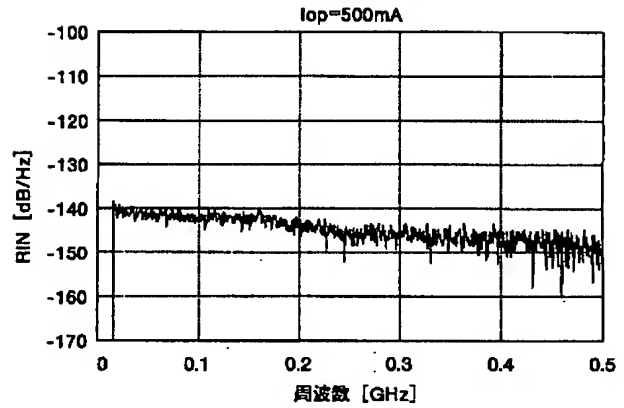


(a)

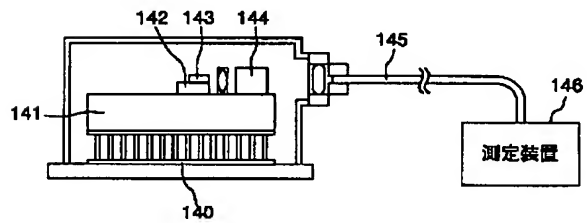


(b)

【図3】

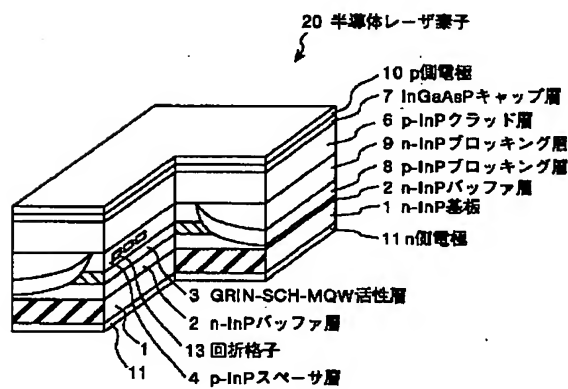


(a)

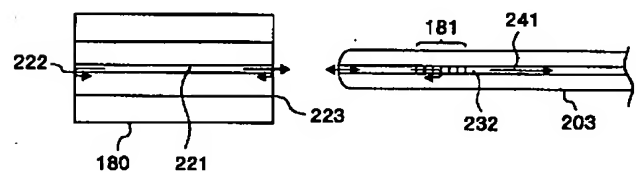


(b)

【図7】

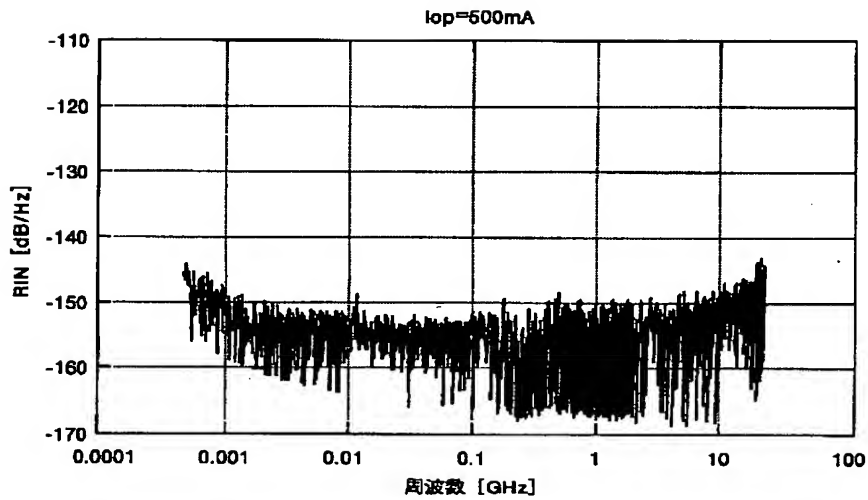


【図22】

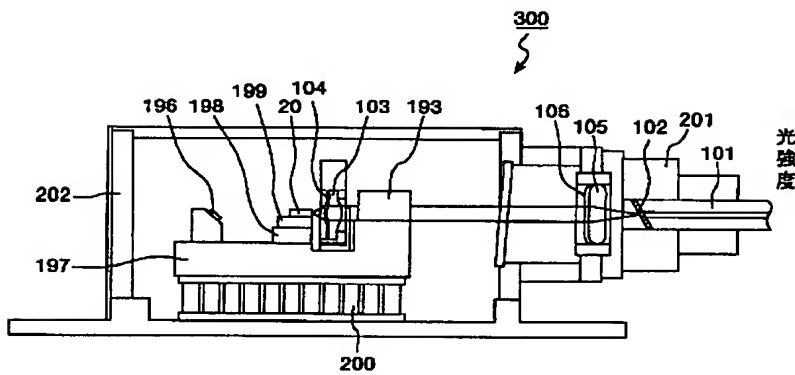




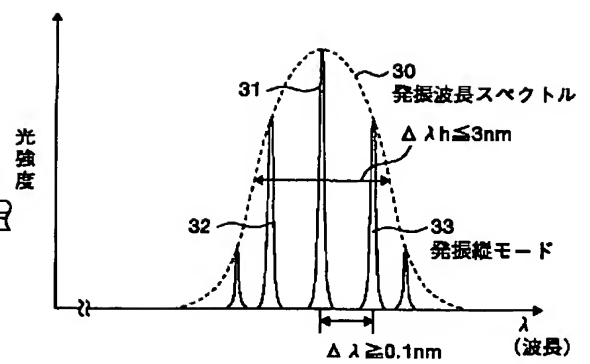
【図5】



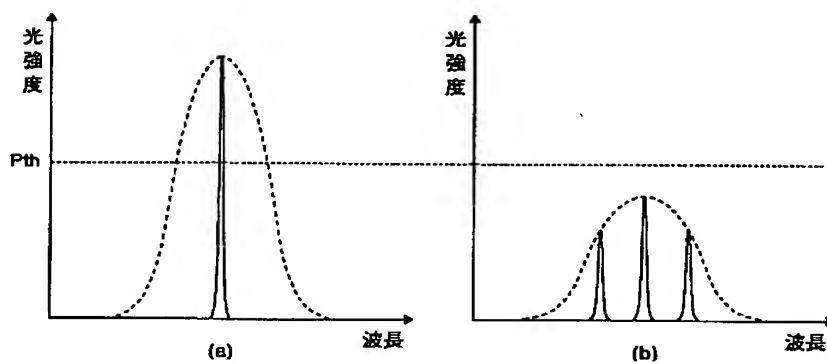
【図6】



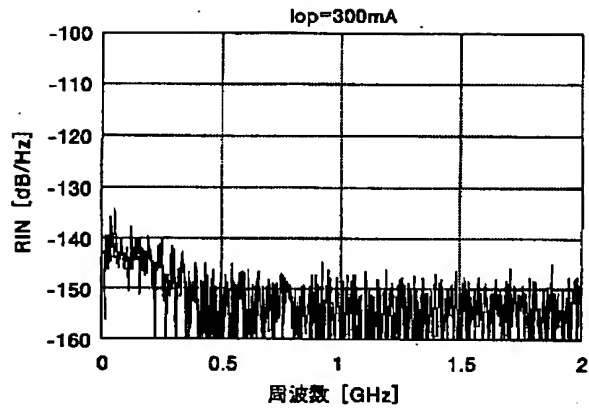
【図10】



【図11】

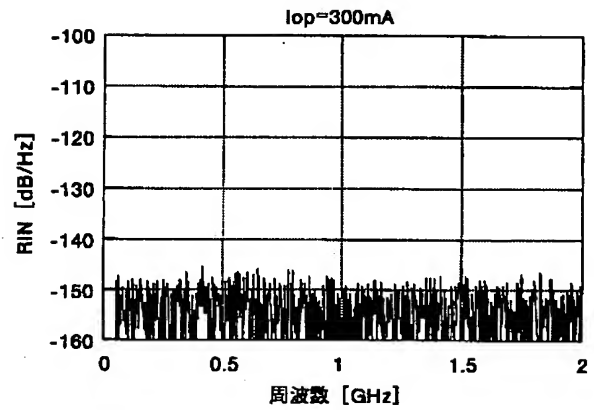


【図12】



(a)

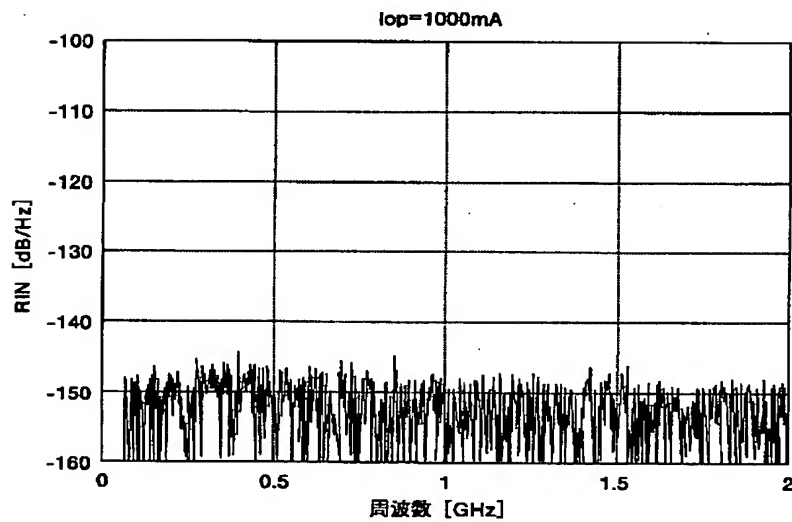
【図13】



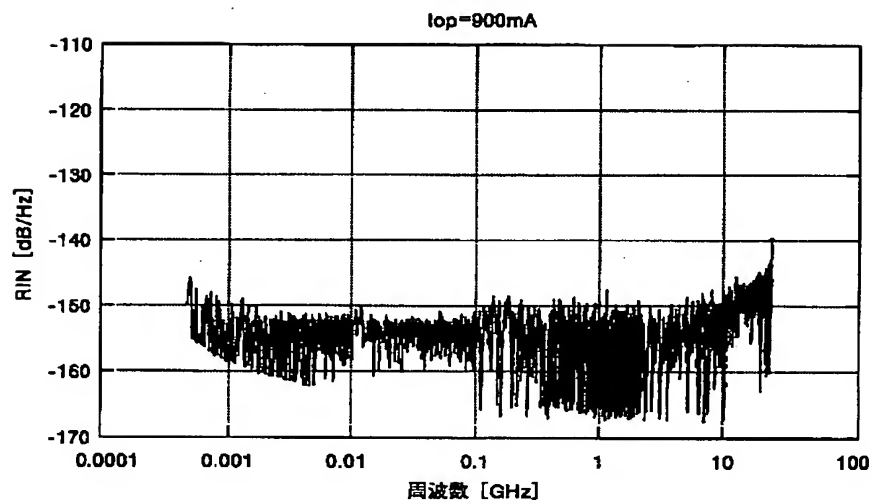
(a)

(b)

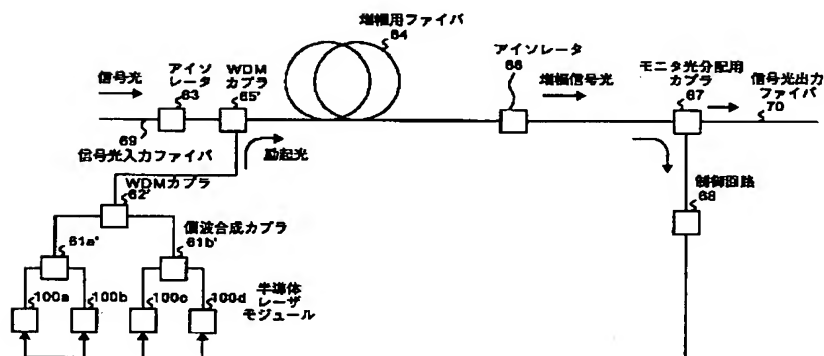
【図14】



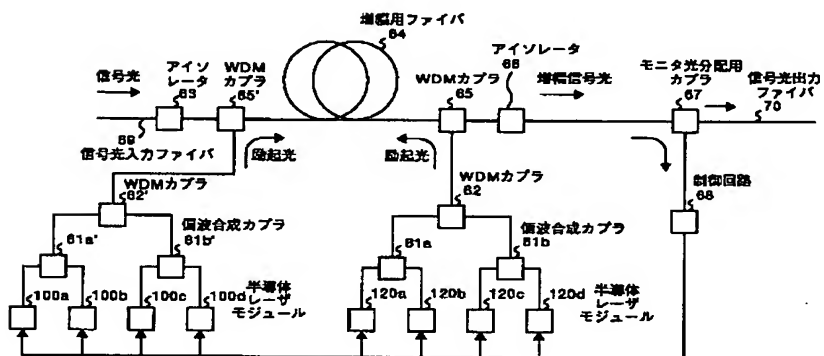
【図15】



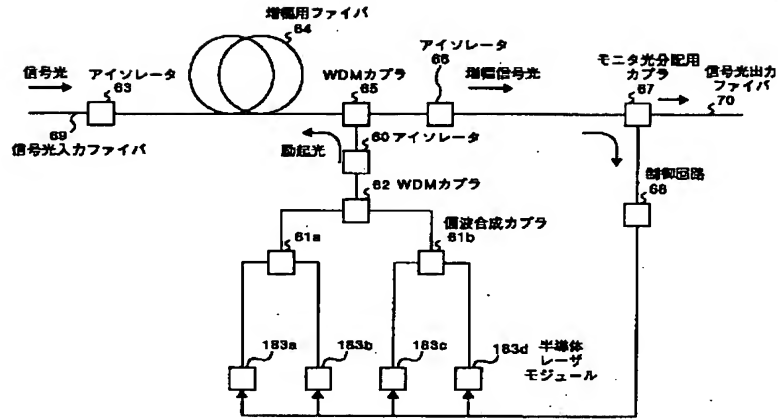
【図16】



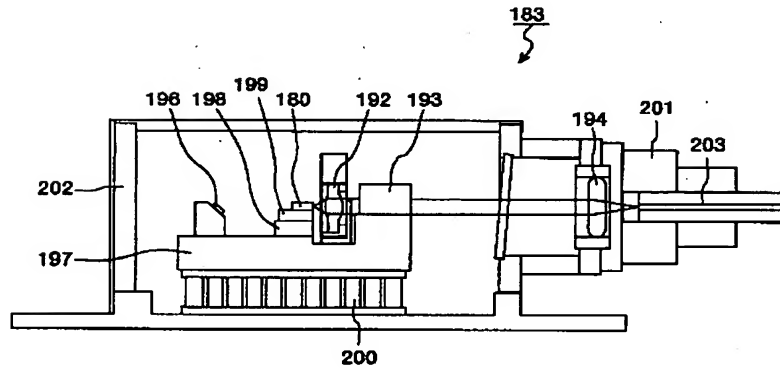
【図17】



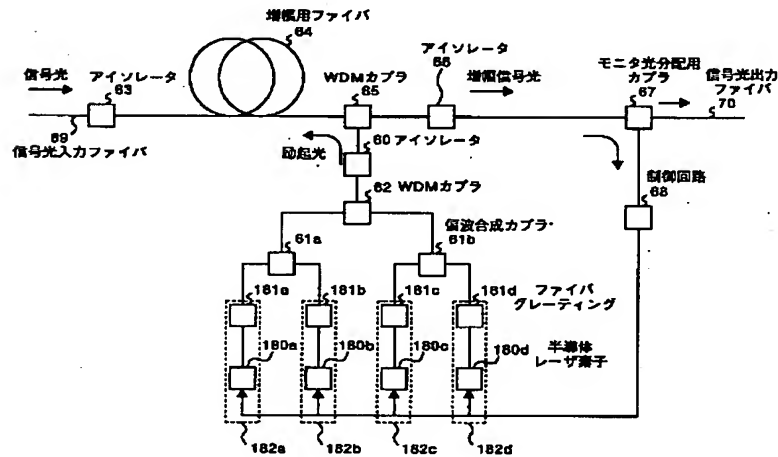
【図18】



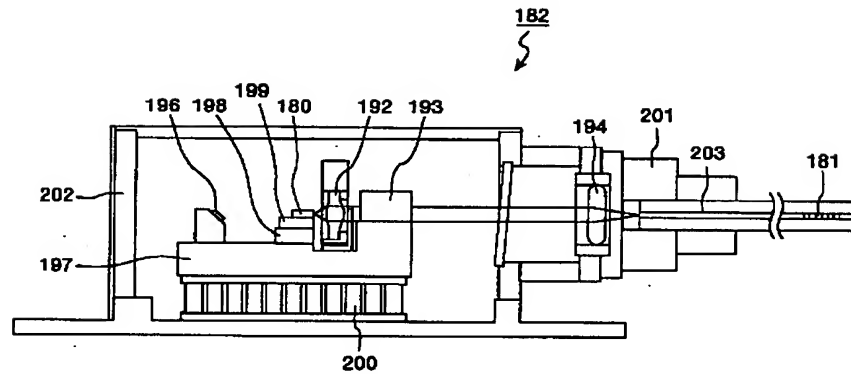
【図19】



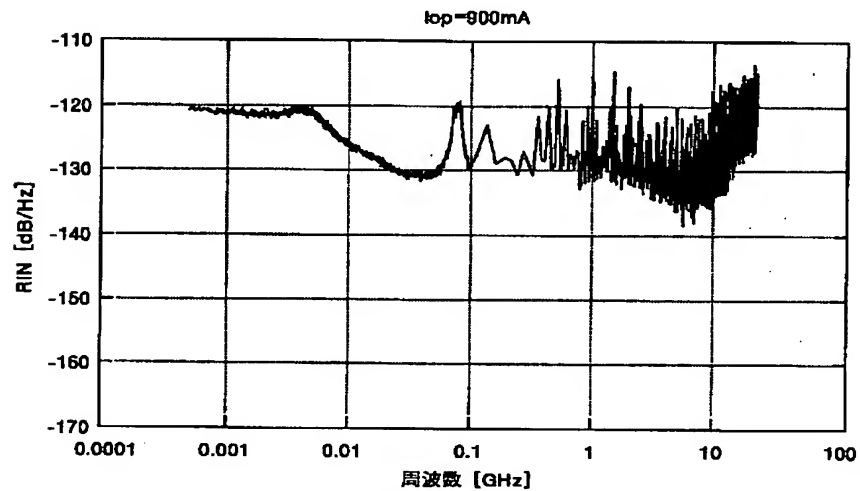
【図20】



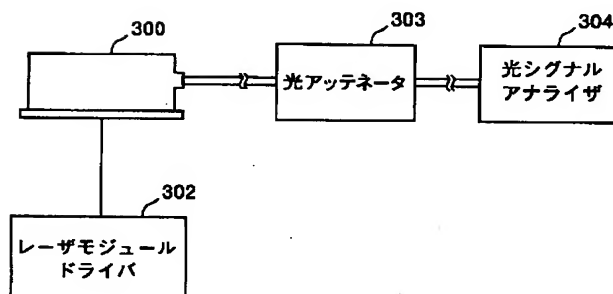
【図21】



【図23】



【図24】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H01S 5/12

H04B 10/16

識別記号

F I

H01S 5/12

H04B 9/00

テマコード (参考)

J

10/17

(72)発明者 谷口 英広  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 築地 直樹  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 大木 泰  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 吉田 順自  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 木村 俊雄  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 2H037 AA03 BA03 CA10 CA16 DA03  
DA04 DA05 DA06 DA15 DA36  
DA38

2K002 AA02 AB30 BA04 CA15 DA10  
EB15 HA23

5F072 AB07 AK06 HH02 HH06 JJ05  
MM07 PP07 QQ07 YY17

5F073 AA22 AA46 AA63 AA74 AA83  
AB27 AB28 AB30 BA09 EA01  
EA26 FA07 FA25

5K102 AA01 AA57 AD01 KA16 PA00  
PB05 PH14